

九井工業大学開発土木科 正員 出光 隆
 九井工業大学開発土木科 学生員 松本 進
 九井工業大学開発土木科 学生員 渡辺義則

1. まえがき

近年、建設工事量の増大に伴ない構造物の基礎工法は大きく改革されようとしている。なかんずく、クイ基礎工法の進展にはめざましいものがある。しかしながら、クイに関してはその支持力機構をはじめとして打込時のヒビワレの問題、その後のネガチブフリクションによるオーバロードの問題など不確定要素が多く今後の解明が待たれている。ここでは、その中で特にクイ打ち時、条件によってはクイ内に引張力が生じ、コンクリートクイにヒビワレを生じる問題を取り上げる。本実験では、塩化ビニール製の模型パイルを製作し、それに引張力が生じるように計画し、その歪波形をシンクロスコープで観測し、実験および理論の両面からパイル中に生じる歪波形を調べようとするものである。以下、その実験内容、結果および若干の考察を述べる。

2. 実験材料、実験方法ならびに解析方法

実験に使用した模型パイルには塩化ビニール製パイプ（弾性係数 32700 kg/cm^2 、密度 1.35 g/cm^3 ）で、クッション材料にはゴムプレート（バネ定数 $K_1 = 7560 \text{ kg/cm}$ 、 $K_2 = 2520 \text{ kg/cm}$ ）を使用し、サイドフリクション用材料としてはスプリング（バネ定数 $K = 3.18 \text{ kg/cm}$ ）を利用した。また、ヒズミゲージには増巾器の倍率を下げ、ノイズを除去する目的で半導体ゲージ（共和電業KK製TYPE KSP C-1-350-E5-16）を使用した。図-1(a)は測定全図を示し、同図(b)は測定回路図を示したものである。

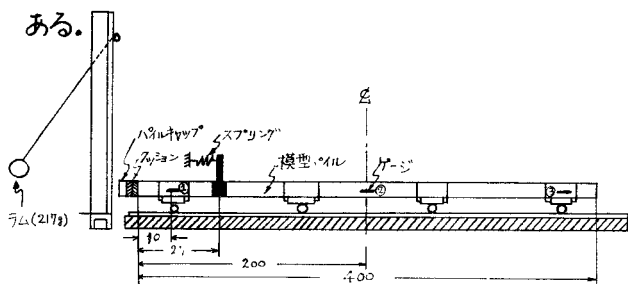


図-1(a) 測定全図

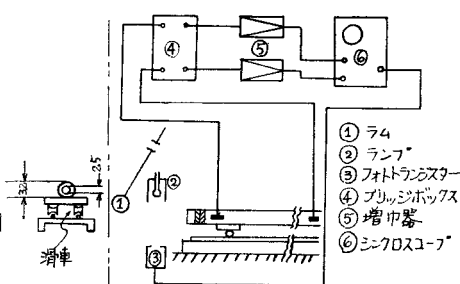


図-1(b) 測定回路図

図-1(b)において、まずラムを任意の高さから、先端自由な模型パイルに落下させ、光源からの光を遮断する。衝突寸前にトリガーパルスが同回路に生じ、シンクロスコープを作動させる。衝突後、ホイートストンブリッジに生じる電圧変化は非常に小さいので直流増巾器（桑野電気KK製V8908P REAMPLIFIER）で10倍に増巾される。そこで歪波形をシンクロスコープで観測し、写真撮影する。実験解析においては、歪波形写真撮影結果より歪波形の最大高さを読みとる。ただし、予め静載荷試験により歪波形の高さと荷重との関係（荷重係数 kg/cm ）を求め、これにより歪波形の高さの読みを力に換算することができる。

2) 内部減衰量の比較について

表-4中の①, ②, ③は図-1におけるゲージ測点を表わし, 圧縮に関しては, 内部減衰量はゲージ測点①の最大圧縮力からゲージ測点②の最大圧縮力を差し引いたものとし, 引張に関しては, ゲージ測点②の最大引張力からゲージ測点①の最大引張力を引いたものとする。なお, ゲージ測点②の圧縮波は帰りの引張波の重なりはないが, ゲージ測点①の引張波は第3波(圧縮力)の影響を受ける。しかしながら第3波の圧縮力の値は小さいと考えられるから引張力の減衰の傾向にはその影響を無視しても差しつかえないものと考えられる。

速度 V_1 および速度 V_2 の場合ともに, 圧縮力の内部減衰量の比はケースI, II, IIIの順に小さくなっている。他方, 引張力の内部減衰量の比は圧縮力の場合とは逆にケースIII, II, Iの順に小さくなっている。同表における()内の数値は理論解析結果より求めたもので, 理論値の内部減衰量は実験値の内部減衰量よりも, 速度 V_1 および速度 V_2 のいずれの場合にも小さくでている。ただし, 理論解析はSMITHの式にあける内部減衰定数を0.0000336として行なった。

3) 外部減衰量の比較について

一般に, 外部減衰量は変形速度大なる程大きいものであるが, 実験結果(表-5)をみると定性的な場合と異って, 逆にでている。すなわち, 速度小時, 外部減衰量は大きくなっている。なお, 理論値の場合には圧縮に関して定性的な場合と同じであるが, 引張力に関しては実験値と同様の傾向がでている。なお, サイドフリクションについては実験ケースが一つしかないので定量的な説明はなし難いと考えられる。

4) シンクロスコープ管面上で写真撮影された歪波形の写真例を写真-1に掲げる。写真-1について簡単に説明すると, これは実験ケースIII, ラムの速度 V_2 の場合の写真で, 写真中, 上の歪波形はゲージ測点①のもので, 下のそれはゲージ測点②のものである。なお, 水平軸の較正は 1 msec/cm であり, 垂直軸のそれは 0.2 volt/cm である。この写真-1から極化ビームの伝パン速度を計算してみると, ゲージ測点①とゲージ測点②の距離は図-1より 190 cm である。また, 写真より両歪波形の時間のずれを計算してみると, 約 1.1 msec である。ゆえに伝パン速度は $190 / 1.1 \times 10^{-3} = 1.73 \times 10^5 \text{ cm/sec}$ となる。一方, 理論伝パン速度を $\sqrt{\text{弾性係数} / \text{単位体積重量}}$ で求めると $1.54 \times 10^5 \text{ cm/sec}$ となる。理論の伝パ

表-3. フリクションによる最大力の比較

ケース	速度	圧縮力(kg)	引張力(kg)	引張/圧縮
I	V_1	72.4	27.0	37.3 %
II		61.6	27.3	44.3
III		47.6	27.5	57.8
I	V_2	100.3	40.2	40.1
II		83.7	38.0	45.4
III		68.5	38.4	56.1

表-4. 内部減衰量の比較

ケース	速度		①-②	(①-②)/①
I	V_1	圧縮	31.6 kg	42.3 %
		引張	14.2	52.6
	V_2	圧縮	41.8	41.7
		引張	22.8	56.7
II	V_1	圧縮	24.5	39.8
		引張	16.9	61.9
	V_2	圧縮	34.5	41.2
		引張	24.1	63.4
III	V_1	圧縮	17.4 (13.6)	36.6 (23.6)
		引張	18.1 (7.2)	65.8 (22.0)
	V_2	圧縮	25.8 (19.2)	37.7 (23.8)
		引張	25.1 (10.4)	65.4 (22.0)

表-5. 外部減衰量の比較 (ただし()内の数は理論値)

速度		(ケースIII-①-②の力) - (ケースIV-①-②の力)
V_1	圧縮	$17.4 - 13.7 = 3.7$ kg (13.6) - (8.8) = (4.8) kg
	引張	$18.1 - 16.2 = 1.9$ (12.0) - (10.4) = (1.6)
V_2	圧縮	$25.8 - 22.8 = 3.0$ (19.2) - (12.0) = (7.2)
	引張	$25.1 - 27.0 = -1.9$ (10.4) - (10.4) = (0)

ろ. 実験結果

表-1 実験の種類

ケース	クッション	サイドフック	速度 (cm/sec)
I	無し	無し	$V_1 = 171.4$ $V_2 = 242.5$
II	$K_1 = 903 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$	無し	$V_1 = 171.4$ $V_2 = 242.5$
III	$K_2 = 3.01 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$	無し	$V_1 = 171.4$ $V_2 = 242.5$
IV	$K_2 = 3.01 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$	$K = 3.18 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$	$V_1 = 171.4$ $V_2 = 242.5$

実験の種類は表-1に示すとおりで、計8種類である。写真撮影結果より歪変形の最大高さを力に換算して、パイルのゲージ測点について表わしたものが表-2である。なお、表中の()内の数字は理論解析を示したものである。ただし、理論解析はE.A.L.SMITHの方法により電子計算機を用いて行った。また、同表を速度 V_2 のときについて示すと図2のごとくなる。

表-2. 各ゲージ測点の最大力

ケース	I		II		III		IV	
速度	V_1	V_2	V_1	V_2	V_1	V_2	V_1	V_2
ゲージ点の力 (kg)	⊕72.4	⊕100.3	⊕61.6	⊕83.7	⊕47.6 (57.6)	⊕68.5 (80.8)	⊕46.3 (51.2)	⊕72.3 (72.0)
①	⊖12.8	⊖17.4	⊖10.4	⊖13.9	⊖9.4 (25.6)	⊖13.3 (36.8)	⊖9.9 (24.8)	⊖13.7 (35.2)
②	41.8	58.5	37.1	49.2	30.2 (44.0)	42.7 (61.6)	32.6 (42.4)	49.5 (60.0)
	27.0	40.2	27.3	38.0	27.5 (32.8)	38.4 (47.2)	26.1 (36.8)	40.7 (45.6)
③	19.5	34.2	16.3	21.7	22.8 (8.0)	18.8 (12.0)	15.0 (8.0)	21.6 (11.2)
	5.4	7.4	4.5	4.9	3.1 (6.4)	4.9 (9.6)	4.3 (7.2)	6.3 (8.8)

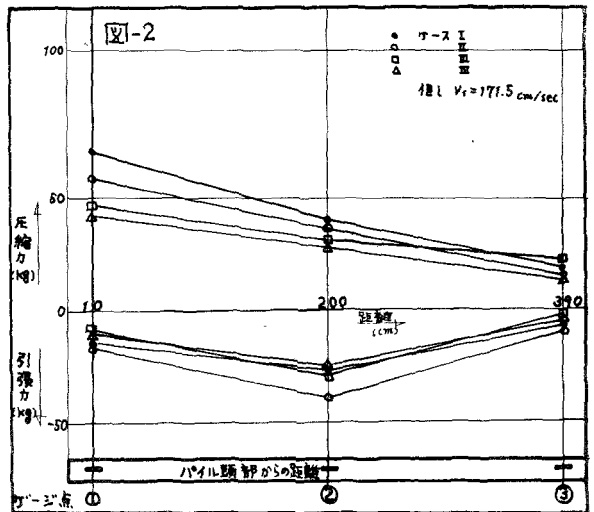
但し、 $V_1 = 171.5 \text{ cm/sec}$, $V_2 = 242.5 \text{ cm/sec}$, ゲージ点の力で ⊕は圧縮, ⊖は引張である。

4. 考察

1) 最大力に対するクッション効果の影響について

表-2より、圧縮についてはゲージ測点①において、引張力についてはゲージ測点②における最大力を各ケースにつき整理したのが表-3である。

圧縮力については、速度 V_1 , V_2 の場合共にケースI, II, IIIの順に小さくなっている。他方、引張力については、速度 V_2 の場合には各ケース共に約27kg, V_1 の場合には約39kgの引張力がそれぞれ生じた。引張力と圧縮力の比はケースI, II, IIIの順に大きくなっている。よって、速度の大小にかかわらずクッション効果の圧縮力に反ばす影響は大きいものと考えられ、クッションのバネ定数小なる程圧縮力は小さくなっている。また、引張力の圧縮力に対する比はクッションのバネ定数小なる程大きくなるものと考えられる。



ン速度の方が実測よりも小さくでている。この原因として考えられるのは、理論計算で弾性係数を静弾性係数で計算したためと考えられる。

5) 図-3は実測歪波形と理論歪波形とを示したものである。実測歪波形はケースⅡの場合で、速度 V_1 、ゲージ測点②について示したものである。理論歪波形は内部減衰を考慮した場合と考慮しない場合について示したものである。同図から、SMITHの方法による理論歪波形は実測の場合と良く類似しているものと考えられる。

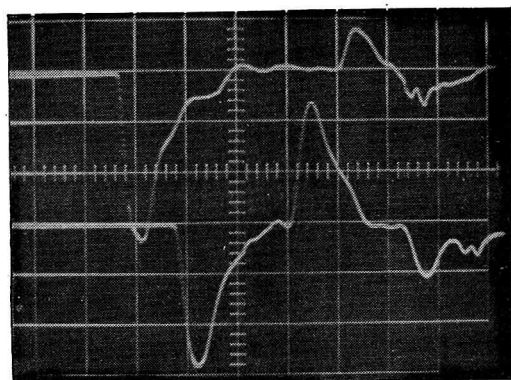


写真-1. 歪波形の写真実測例

5. あとがき

模型パイルに生じる引張力を実験では観測し得たが、内部減衰の問題や外部減衰の問題など非常に難しいために引張力を定量的に説明し得るにはまだまだ不十分となってしまった。今後、更に実験の種類を増やして、色々な角度から引張力の定量的解析を検討してみたいと考えている。また、室内実験だけではなく、目下、実際のコンクリートパイルについて現場実験を計画中である。

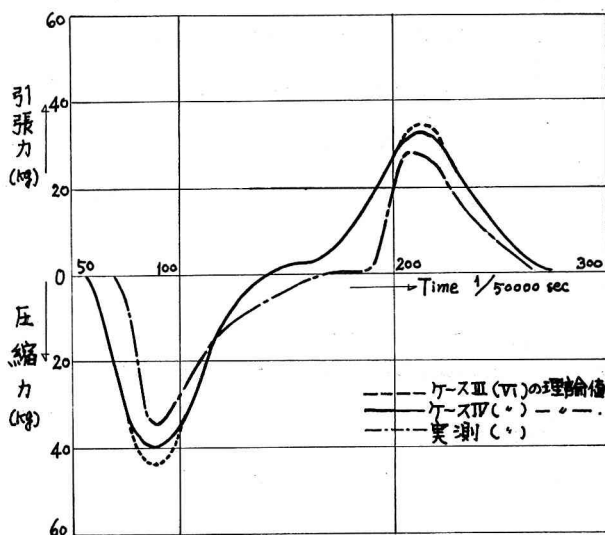


図-3. 実測波形と理論波形の比較

参考文献

- ① E.A.L. SMITH : Pile driving analysis by the wave equation, Transaction of A.S.C.E., 1962
- ② Charles H. Samson, Jr., M.ASCE, Teddy J. Hirsch, M.ASCE and Lee L. Lowery, Jr., A.M. ASCE : COMPUTER STUDY OF DYNAMIC BEHAVIOR OF PILING.
- ③ 土木学会編：土木技術者のための振動便覧
- ④ 渡辺、清永、松本：波動方程式によるくいのお撃時応力解析、コンクリートジャーナル、Vol. 6, No. 10, 昭和43年1月,